سیم تشکیل می شوند هرچه تعداد دور این سیمها بیشتر باشد، طول موثر آن بیشتر و بنابراین مقاومت الکتریکی آن بیشتر خواهد بود بعلاوه سطح مقطع این سیمها نیز تاثیر عکس در مقدار مقاومت الکتریکی آن دارد.

وقتی ترانسفورماتور زیر بار قرار می‌گیرد ، در سیم پیچ های آن جریان جاری شـده و توانی متناسب با (RI^2) در هر یک از سـیم پیـچ های اولیه و ثانویه بـه گرما تبدیل می‌شود.

بـه مقدار انرژی الکتریکی که در سـیم پیچ اولیه و ثانویه ترانسفورماتور و بر اثر مقاومت اهمی سیم پیچها به گرما تبدیل می شـود ، تلفات اهمی سـیم پیچهای ترانسـفورماتور می‌گویند. و از آنجا که غالبا جنس سیم پیچها مسی است ، به این تلفات ، تلفات مسی نیز گفته می شود.

تلفات مسـی وابستگی شـدیدی به جریان بار دارد و از آنجا که جریان عبوری از ترانسـفورماتور در اختیار مصرف کننده است لذا می تواند تغییر کند پس تلفات مسـی جزو تلفات متغیر ترانسفورماتور به حساب می آید.

بـرای کاهش تلفات مسـی در ترانسـفورماتورها ، بارگذاری مناسـب بـر روی آن ها توصیه می شـود تا بدین ترتیب با عبور جریان مناسب تلفات مسی را بتوان کنترل نمـود . افزایش بار مخصوصا تجاوز آن از مقدار نامی باعث افزایش شدید تلفات مسی در ترانسفورماتور خواهد شد.

خود را بیازمایید

۱) هر چه تعداد دور سیم پیچ ترانسفورماتور بیشتر باشـد مقاومـت الکتریکـی آن.....و تلفات مسی آن..... است.(بیشتر-کمتر)

۲) اگر جریان بار یک ترانسـفورماتور سه برابر شود تلفات مسی آن ..... برابر می شود.

۳) مناسب ترین روش برای کاهش تلفات مسی در ترانسفورماتور چیست؟

۱۱- راندمان یا بازده ترانسفورماتور

بازده ترانسـفورماتور نیز مانند هر ماشین دیگری با رابطه(۱-۶۰) بر حسب درصد بیان می شود.

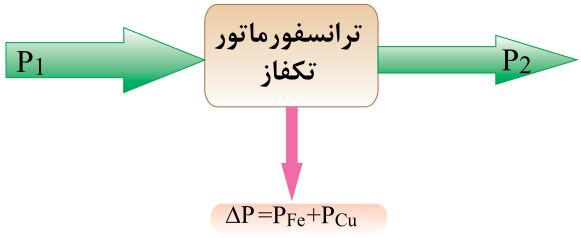
$$\%\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100 \qquad (1\text{-}60)$$

$\%\eta$ بازده یا راندمان بر حسب درصد

P_2 توان مصرفی (حقیقی) خروجی

P_1 توان مصرفی (حقیقی) ورودی

دیاگرام توازن توان در ترانسـفورماتور مطابق شکل (۵۳)می‌باشد.



شکل ۵۳- دیاگرام توازن توان در یک ترانسفورماتور

بـا توجه به دیاگرام توازن تـوان در صورتیکه مقدار توان حقیقی P_1 مسـتقیما در دسترس نبود، بطور غیر مسـتقیم برای محاسبه مقدار راندمان می توان مطابق روابط زیر عمل کرد.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \qquad (1\text{-}61)$$

$$P_1 = P_2 + \Delta P \qquad (1\text{-}62)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} \qquad (1\text{-}63)$$

$$\Delta P = P_{Fe} + P_{Cu} \qquad (1\text{-}64)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu}} \qquad (1\text{-}65)$$

$$P_2 = U_2 I_2 \cos\varphi \qquad (1\text{-}66)$$

و راحت‌تر آنکه رابطه فوق به شکل رابطه(۶۷-۱) نوشته شود:

$$\eta = \frac{U_2 I_2 \cos\varphi}{U_2 I_2 \cos\varphi + P_{Fe} + P_{Cu}} \qquad (۱-۶۷)$$

در رابطه(۶۷-۱)

U_2 ولتاژ نامی مصرف کننده بر حسب V

I_2 جریان نامی ثانویه بر حسب A

$\cos\varphi$ ضریب قدرت بار

P_{Fe} تلفات آهنی ترانسفورماتور یا همان تلفات ثابت

P_{CU} تلفات مسی ترانسفورماتور یا همان تلفات متغیر

البته چون تلفات مسی با تغییر جریان بار تغییر می‌کند، ابتدا باید تلفات مسی به ازای آن مقدار عبور جریان با کمک روابط (۵۱-۱) ، (۵۲-۱) و (۵۳-۱) محاسبه شود.

به یاد داشته باشید که توان ظاهری نامی ترانسفورماتورها ، تلفات مسی بازای عبور جریان نامی که از آزمایش اتصال کوتاه استخراج گردیده و تلفات آهنی بدست آمده از آزمایش بی‌باری همگی از مشخصات اصلی ترانسفورماتور به حساب می آید که روی پلاک آنها غالبا نوشته شده است. بنابراین با توجه به رابطه (۵۳-۱) ، (۶۷-۱)و (۶۸-۱) می توان راندمان را از رابطه (۶۹-۱) نیز محاسبه کرد.

$$S = P_2 \cos\varphi \qquad (۱-۶۸)$$

$$\eta = \frac{AS_n \cos\varphi}{AS_n \cos\varphi + P_{Fe} + A^2 P_{Cu_n}} \qquad (۱-۶۹)$$

در رابطه(۶۹-۱):

S_n قدرت ظاهری نامی بر حسب VA

A ضریب بار

$\cos\varphi$ ضریب قدرت بار مصرفی

P_{Fe} تلفات بی‌باری (آهنی) خروجی آزمایش بی‌باری بر حسب W

P_{CUn} تلفات بار داری (مسی) خروجی آزمایش اتصال کوتاه بر حسب W

همانطور که در رابطه(۶۹-۱) دیده می شود راندمان تابعی از ضریب بار و ضریب قدرت است. زیرا مقادیر توان ظاهری نامی، تلفات آهنی و تلفات مسی در بار کامل به ساختمان ترانسفورماتور بستگی داشته و در ترانسفورماتور قابل تغییر نیستند.

ثابت می شود راندمان ترانسفورماتور زمانی ماکزیمم است که مقدار ضریب بار مطابق رابطه (۷۰-۱) باشد.

$$A = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{Cu_n}}} \qquad (۱-۷۰)$$

اصولا در ساخت ترانسفورماتورهایی که قرار است به طور دائم زیر بار کار کنند ، سیم پیچ آن ها را طوری طراحی می کنند که در جریان بار کامل یا نامی تلفات آهنی و مسی آن ها باهم برابر شوند تا راندمان ترانسفورماتور در موقع کار و در بار کامل ماکزیمم باشد.

ولی همواره در بار نامی تلفات مسی از تلفات آهنی بیشتر می شود و همین موضوع سبب می‌گردد که راندمان در بار کامل از اندازه راندمان ماکزیمم قدری پایین تر بیاید.

بنابراین می توان نتیجه گرفت هرگاه مقدار ضریب بار از رابطه(۷۰-۱) تبعیت کرد و یا با بارگذاری روی ترانسفورماتور مجموع تلفات مسی و تلفات آهنی برابر

شد ،راندمان ترانسفورماتور حد اکثر خواهد شد.

یعنی اگر

$$P_{Cu} = P_{Fe} \Rightarrow \eta = \eta_{max}$$

تحقیق کنید

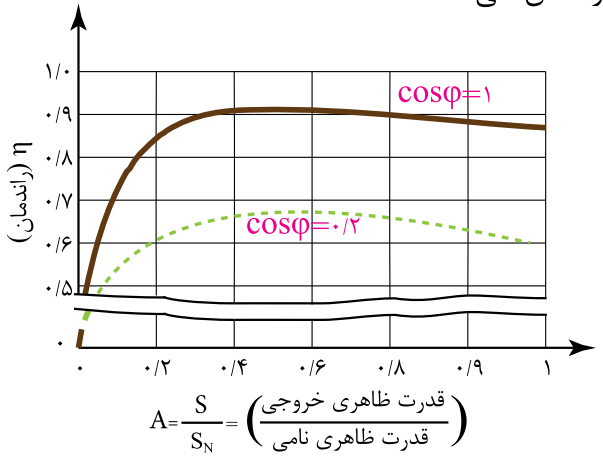
درستی عبارت زیر را ثابت کنید.

$$P_{Cu} = P_{Fe} \Rightarrow \eta = \eta_{max}$$

بنابراین اگر در انتخاب ترانسفورماتور دقت لازم به عمل آید می تـوان از حداکثر توان آن بهره گرفت. هرچند بارگیری ترانسفورماتور وابستگی کامل به میزان مصرف داشته و چون مصرف کننده انرژی ممکن است بطور مداوم بار خروجی ترانسفورماتور را تغییر دهد پس راندمان ترانسفورماتور هم کاملا متغیر می‌باشد و وابسته به بار تغییر خواهد کرد.

بـا توجه به رابطه (۶۹-۱) ،راندمان ترانسـفورماتور به ضریب قدرت نیز وابسته است و از آنجا که دامنه تغییرات ضریـب قدرت از صفر تا یک می‌باشـد، لـذا بطور جدی می تواند باعث کاهش یا افزایش راندمان ترانسـفورماتور می شود. مقدار ضریب قدرت نیز به نوع بار مصرفی متصل شده به ترانسفورماتور وابسته است.

شکل (۵۴) تغییرات همزمان ضریب بار و ضریب توان را نشان می دهد.



شکل ۵۴- منحنی تغییرات راندمان بر حسب تغییرات بار و ضریب قدرت

خود را بیازمایید

۱) از ثانویه یک ترانسفورماتور ۱۰۰ A جریان عبور می‌کند، اگر جریان نامی این ترانسفورماتور ۱۲۰ A باشد ضریب بار چقدر است؟

۲) یک ترانسـفورماتور ۱۵۰ KVA باری را با توان ۸۰KVA تغذیه می‌کند ضریب بار چقدر اسـت؟

۳) در بار نامی یک ترانسفورماتور تلفات..... از تلفات ..... بیشتر است.(آهنی-مسی)

۴) ترانسـفورماتوری کـه در راندمان ماکزیمم کار می‌کند ضریب بار آن حتما ..... از واحد اسـت. (بیشـتر-کمتر)

۵) یک ترانسفورماتور ۴۰KVA باتلفات مسی نامی ۱۲۰۰ وات وتلفات آهنـی نامی ۸۰۰ وات، بارنامی باضریـب قدرت ۰/۷ پـس فاز را تغذیـه می‌کند. راندمان ترانسفورماتور چقدر است؟

۶) حداکثر راندمانی را که ترانسفورماتور مسئله (۵) می تواند با همان ضریب قدرت تامین نماید را بدست آورید.

۱۲- انواع ترانسفورماتورهای تکفاز خاص

۱۲-۱- ترانسفورماتور ایزوله

در مصرف کننده‌های تکفاز اختلاف پتانسیل یا ولتاژ بین دو سـیم فـاز و نول وجود دارد کـه غالبا از طریق ترانسـفورماتور توزیع سه فاز با اتصال خروجی ستاره یا زیگزاگ[1] تامین می شوند.

ماهیت سـیم فاز برای ما روشن است یعنی سیمی که دارای پتانسیل نسبت به زمین می‌باشد.

ولی ماهیت سیم نول چیست؟

واقعیت این اسـت که نقطه مرکزی اتصال ستاره یا

زیگزاگ را جهت ثبات ولتاژ خروجی به پتانسیل زمین متصل می کنند. همچنین برای تامین مسیر برگشت جریان مصرف کننده‌های تکفاز این سیم را به همراه سیمهای فاز به مصرف کننده‌های برق می‌رسانند که به آن سیم نول گفته می شود. یعنی سیم نول انشعاب گرفته از سیم زمین می‌باشد.

تحقیق کنید

گاهی اوقات در صنعت برق ترانسفورماتورها را با نسبت تبدیل یک میسازند یعنی تعداد دور سیم پیچ اولیه و ثانویه آن ها برابر بوده و ولتاژ دو سمت ترانسفورماتور باهم برابر است.

آیا بنظر شما ساخت چنین ترانسفورماتوری منطقی است؟

حال اگر بدن یک شخص مطابق شکل (۵۵-الف) بطور مستقیم یا غیر مستقیم با سیم فاز برخورد کند جریان از طریق بدن فرد و زمین بسته شده و موجبات برق گرفتگی شخص را فراهم می‌کند.

اما اگر سر راه فاز و نول یک ترانسفورماتور با ضریب تبدیل یک گذاشته شود بدون آنکه ولتاژ تغییری کرده باشد انرژی الکتریکی از طریق القا الکترومغناطیسی به سمت ثانویه منتقل شده و ارتباط الکتریکی سیم نول با زمین قطع خواهد شد. در واقع با اینکار در خروجی ترانسفورماتور سیم نول وجود ندارد بلکه ولتاژ بین دو سر سیم پیچ موجود است و با اتصال یک سر سیم پیچ به زمین جریان برقرار نمی‌گردد. در این مدار تنها با اتصالی دو طرف سیم پیچ جریان در آن برقرار می شود.

به همین خاطر مطابق استاندارد، پریزهای برق نصب شده در حمام و مکان های مرطوب باید مجهز به این ترانسفورماتور باشند زیرا اتصال ثانویه را از نول یا زمین جدا می‌کند که به آن ترانسفورماتور ایزوله می‌گویند.

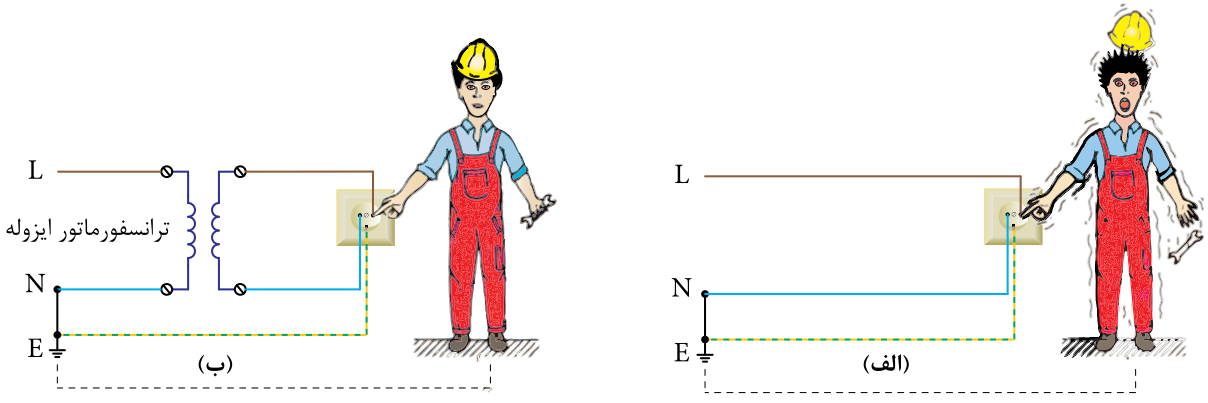
خود را بیازمایید

۱) نسبت تعداد دور اولیه به ثانویه ترانسفورماتور ایزوله چقدر است؟

۲) اتصال شخص به ثانویه ترانسفورماتور ایزوله درچه صورتی باعث برق گرفتگی می شود؟

۱۲-۲- ترانسفورماتور جریان

جریان های عبوری از یک سیم در شبکه های برق به منظور کاربردهای کنترلی و حفاظتی باید اندازه‌گیری شود. در شبکه های برق با ولتاژ بالا و جریان های زیاد



شکل۵۵ – نقش ترانسفورماتور ایزوله در زمان اتصال بدن شخص با قسمت برقدار

۱) با چگونگی این اتصالات در فصل بعد آشنا خواهید شد.

امکان اندازه‌گیری جریان بصورت مستقیم وجود ندارد.

از طرفی می دانیم که اطراف سیم حامل جریان، میدان مغناطیسی ایجاد می شود و در صورت عبور جریان متناوب، این میدان نیز متناوبا تغییر خواهد کرد بطوریکه اندازه این میدان متناسب با مقدار جریان عبوری از سیم می‌باشد.

از همین اثر برای اندازه‌گیری غیر مستقیم جریان در شبکه های با ولتاژ و جریان زیاد استفاده می شود.

بدین ترتیب با قرار دادن یک هسته مغناطیسی پیرامون سیم حامل جریان، میدان های متغیر حاصل از آن در هسته ، تولید شار مغناطیسی کرده و اگر روی همین هسته سیم پیچ دیگری با سطح مقطع کم و تعداد دور زیاد داشته باشیم می تواند در سمت ثانویه ولتاژ القا نماید. در صورت بسته شدن مدار ثانویه نیز جریانی از آن عبور می‌کند که طبق روابط اساسی ترانسفورماتور مقدار جریان عبوری از سیم پیچ ثانویه متناسب با جریان سیم حامل جریان شبکه خواهد بود. این ترانسفورماتور را ترانسفورماتور جریان یا CT [1] می‌گویند.

ضریب تبدیل این ترانسفورماتور را به صورت کسری و نسبت جریان اولیه به ثانویه $\frac{I_1}{I_2}$ تعریف می کنند مثلا ترانسفورماتور جریان $\frac{100A}{5A}$ می تواند جریان عبوری ۱۰۰A مدار را به ۵A در دستگاه اندازه‌گیری تبدیل کند و دیگر جریان های عبوری تا ۱۰۰A را بصورت خطی در دستگاه اندازه‌گیری با همین نسبت کوچک نماید. ضریب تبدیل ترانسفورماتور های جریان، شاخصی موثر در انتخاب آن محسوب می شود و همواره روی پلاک مشخصات CT درج می‌گردد. البته لازم بذکر است جریان ثانویه اینگونه ترانسفورماتورها را معمولا برای ۱A یا ۵A طراحی می‌نمایند.

بطور کلی می توان گفت ترانسفورماتور جریان ترانسفورماتوری است که اولیه آن سیم حامل جریان و ثانویه آن به یک وسیله اندازه‌گیری مثلا آمپر متر متصل می‌باشد در شکل(۵۶) نمای ظاهری چند نمونه CT آورده شده است.

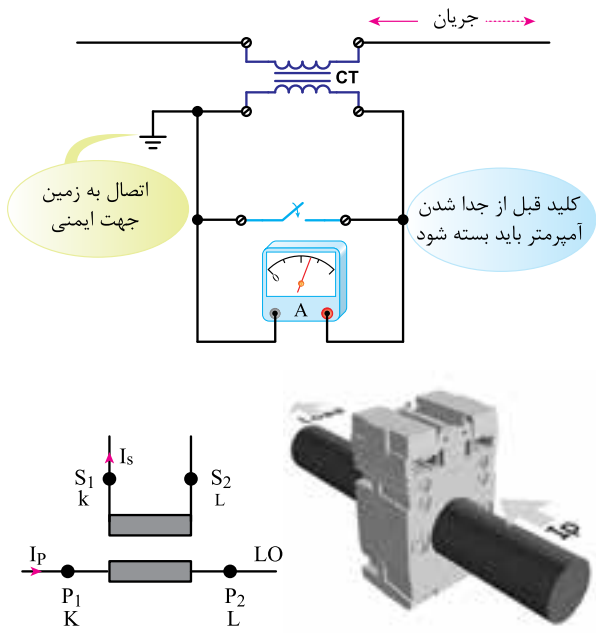
وسایل اندازه‌گیری کننده جریان همگی دارای امپدانس خیلی کم می‌باشند زیرا نباید تاثیری در مقدار جریان عبوری از مدار داشته باشند. بنابراین ثانویه ترانسفورماتورهای جریان همگی اتصال کوتاه است.

در شکل(۵۶) ، تمام جریان اولیه (شبکه) به مدار ثانویه منتقل شده است با این تفاوت که حالا مقدار آن خیلی کمتر است.

چگونگی قرار گرفتن CT وآمپرمتر در شبکه برق در شکل (۵۷) نشان داده شده است. چون CT قرار است نمونه ی جریان را به وسیله‌ی اندازه‌گیری انتقال دهد، لذا به طور سری در مسیر جریان قرار می‌گیرد.

شکل ۵۶ – نمای ظاهری چند ترانسفورماتور جریان CT

[1] Current Transformer



شکل ۵۷- چگونگی اتصال ترانسفورماتور جریان CT در مدار

از طرفی امپدانس داخلی آمپرمتر بسیار ناچیز است پس می توان گفت مدار ثانویه CT در حالت معمول اتصال کوتاه می‌باشد به همین خاطر ترانسفورماتور جریان را برای حالت کار اتصال کوتاه در سمت ثانویه محاسبه می کنند. یعنی همواره باید شار مخالف حاصل ازنیروی محرکه مغناطیسی تولید شده در سیم پیچ ثانویه شار میدان اولیه را در هسته خنثی کند.

البته در صورت باز شدن مدار ثانویه شار مخالف در هسته دیگر وجود نخواهد داشت و در نتیجه موارد زیر اتفاق می افتد:

- همه‌ی شار مربوط به میدان اولیه در هسته به صورت تلفات آهنی ظاهر می شود و باعث افزایش گرما در هسته می‌گردد.
- از آنجا که CT یک ترانسفورماتور افزاینده است،(تعداد دور ثانویه نسبت به اولیه بیشتر است) ولتاژ در سیم پیچ ثانویه به قدری بالا می رود که باعث از بین رفتن عایق بندی ترانسفورماتور گردیده و برای اپراتور نیز خطر شوک الکتریکی در پی دارد.

طرف ثانویه ترانسفورماتور جریان را نباید باز گذاشت یا آن را توسط فیوز محافظت کرد.

همچنین در هنگام باز کردن دستگاه‌های اندازه‌گیری از ثانویه CT مطابق شکل(۵۷) باید ابتدا مدار ثانویه توسط یک کلید اتصال کوتاه و سپس دستگاه اندازه‌گیری را جدا نمود. بعلاوه جهت حفظ ایمنی یک طرف ثانویه CT ها باید به شبکه زمین متصل شود.گاهی اوقات برای اندازه‌گیری جریان در یک کابل بدون آنکه آن را قطع کنند از آمپرمترهای انبری مطابق شکل (۵۸) استفاده می شود.

شکل ۵۸- نمای ظاهری یک آمپرمتر انبری

هسته این ترانسفورماتور بطور دو تکه و به شکل انبر ساخته می شود چنانکه با باز کردن دهانه انبر کابل حامل جریان در داخل هسته قرار می‌گیرد و سپس دهانه انبر بسته می شود و آمپرمتری که مدار آن از داخل متصل شده و روی انبر نصب گردیده است جریان عبوری از کابل را نشان می دهد.

۱۲-۳- ترانسفورماتور ولتاژ

به منظور جداسازی مدارهای حفاظتی و اندازه‌گیری از قسمت فشار قوی و تبدیل مقادیر ولتاژ شبکه به مقدار مورد نیاز دستگاه‌های اندازه‌گیری و حفاظتی لازم است از ترانسفورماتورهایی موسوم به ترانسفورماتورهای ولتاژ یا PT استفاده شود. شکل (۵۹) دو نمونه PT را نشان می دهد.

شکل ۵۹- نمای ظاهری ترانسفورماتور ولتاژ PT

۱

PT یک نوع ترانسفورماتور کاهنده ولتاژ است و در واقع تفاوت زیادی بین ساختمان آن و دیگر ترانسفورماتورهای معمولی وجود ندارد ولی چون از دسته ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری است باید دارای دقت بالاتر و تلفات کمتر باشد بعلاوه چون اختلاف ولتاژ بین سیم پیچ اولیه و ثانویه آن غالبا زیاد است،[1] نوع عایق بندی در آن اهمیت ویژه ای دارد حتی برای اتصال ثانویه PT ها به دستگاه‌های اندازه‌گیری یا حفاظتی از سیم هایی با پوشش عایقی ضخیم باید استفاده شود.

ثانویه این ترانسفورماتورها معمولا با ولتاژهای۱۰۰v، ۱۲۰v یا ۲۲۰v ساخته می شود. اولیه و ثانویه PT ها بر خلاف ترانسفورماتورهای جریان CT باید در برابر جریان اتصال کوتاه محافظت شوند. به همین منظور در اولیه و ثانویه این نوع ترانسفورماتور باید از فیوز استفاده شود.

همچنین جهت حفظ ایمنی یک طرف ثانویه PT ها باید به شبکه زمین متصل شود.

خود را بیازمایید

۱) ترانسفورماتور جریان در صنعت برق چه کاربردی دارد؟

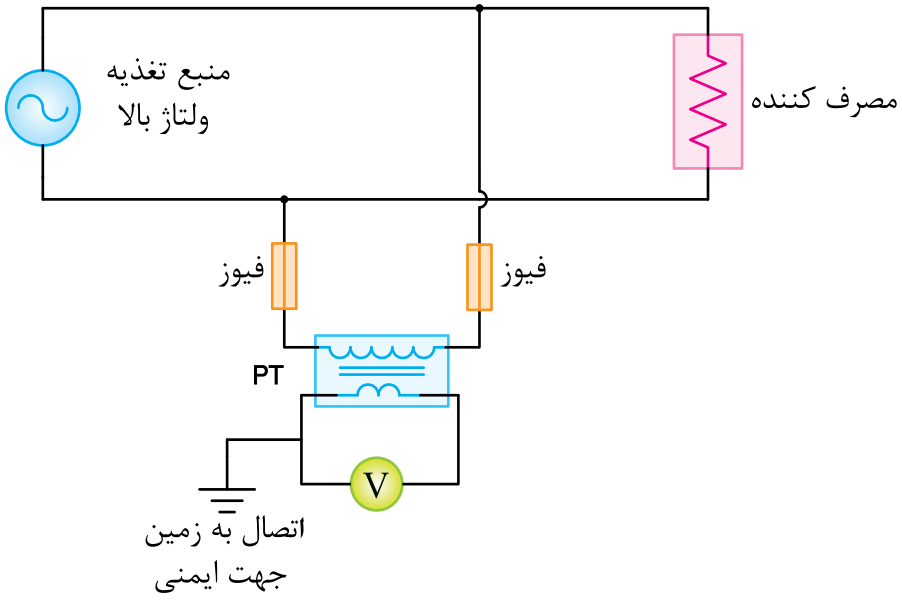
۲) ساختمان ترانسفورماتور جریان را شرح داده طریقه نصب آن را در مدار ترسیم نمایید.

۳) آیا میتوان آمپرمتر متصل به ثانویه ترانسفورماتور جریان را هنگام کار باز نمود؟ چرا؟

۴) تفاوت PT (ترانسفورماتور ولتاژ اندازه‌گیری)با ترانسفورماتورهای دیگر چیست؟

۵)از اولیه یک ترانسفورماتور جریان۱ / ۱۰۰۰ آمپر، جریان ۷۵۰ آمپر عبور می‌کند. چه جریانی از مدار آمپرمتر عبور می‌کند

۶)ولتاژ اندازه‌گیری شده در ثانویه یک PT ۲KV/۱۰۰V ۶۵ ولت اندازه گیری شده است، ولتاژ شبکه چقدر می باشد؟



شکل ۶۰-چگونگی اتصال ترانسفورماتور ولتاژ PT در مدار

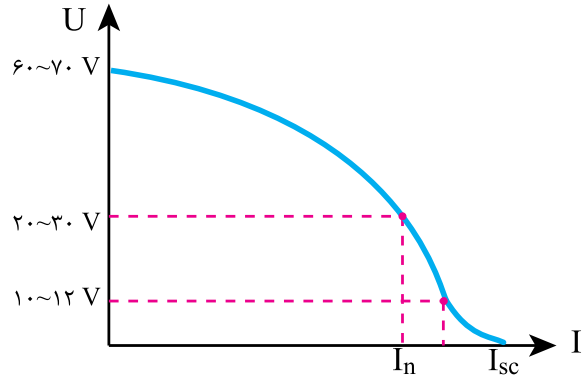
۱) ولتاژهای شبکه: ۶ KV، ۲۰ KV، ۳۳ KV، ۶۳ KV، ۱۳۲ KV، ۲۳۰KV و ۴۰۰ KV

۱۲-۴- ترانسفورماتور جوشکاری

ترانسفورماتورهای جوشکاری بر حسب نوع و ساختمانشان متنوع هستند. در اینجا ترانسفورماتورهای جوشکاری از نوع قوس الکتریکی مد نظر می‌باشد.

شکل ۶۱- نمای ظاهری دستگاه جوش و عملیات جوشکاری

ترانسفورماتور جوشکاری باید مشخصه جریان و ولتاژ خروجی مطابق شکل (۶۲) را دارا باشد. بدین ترتیب که در حالت بی‌باری دارای ولتاژی حدود ۶۰ تا ۷۰ ولت بوده تا بتواند قوس الکتریکی ایجاد شود همچنین پس از برقراری قوس (چون امپدانس قوس بسیار کم می‌باشد)، خروجی ترانسفورماتور تقریبا اتصال کوتاه است و ولتاژ خروجی ترانسفورماتور جوش در حدی است که قوس را در حالت پایدار نگاه دارد.



شکل ۶۲- مشخصه جریان و ولتاژ خروجی ترانسفورماتور جوشکاری

بنابراین این نوع ترانسفورماتور باید طوری طراحی شود که اتصال کوتاه های پی در پی باعث آسیب دیدن آن نشود لذا در این ترانسفورماتورها باید امپدانس داخلی در حد قابل توجهی بالا باشد. پس باید ولتاژ اتصال کوتاه نسبی اینگونه ترانسفورماتور ها بسیار زیاد و نزدیک به صددرصد باشد. برای بالا بردن امپدانس داخلی ترانسفورماتورها یا باید از سیم هایی با مقاومت زیاد جهت سیم پیچی استفاده کرد که اینکار با وجود جریان بالای جوشکاری باعث افزایش تلفات حرارتی در ترانسفورماتور شده و امکان پذیر نیست و راه دیگرایجاد پراکندگی بیشتر میدان است که برای ترانسفورماتور جوشکاری از این راه استفاده می شود. افزایش پراکندگی با در نظر گرفتن یک کوپلینگ ضعیف بین سیم پیچ اولیه و ثانویه محقق می‌گردد.

خود را بیازمایید

۱) چرا برای بالا بردن امپدانس داخلی ترانسفورماتور ،از سیمهای با مقاومت الکتریکی بالا استفاده نمی‌شود؟

تحقیق کنید

چه راه‌هایی برای ایجاد کوپلینگ ضعیف در ترانسفورماتورهای جوش وجود دارد؟

۱۲-۵- اتوترانسفورمر

۱۲-۵-۱- کلیات

همه ترانسفورماتورهایی که تا به حال بحث شد دارای دو سیم پیچ جدا از هم بودند. نوع دیگری از ترانسفورماتور وجود دارد که فقط شامل یک سیم پیچ است. این نوع ترانسفورماتور را اتوترانسفورمر می‌گویند. شکل های (۶۳-الف و ب) مدار ساده‌ای از یک اتوترانسفورمر کاهنده و افزاینده ی ولتاژ را نمایش می دهند.

مطابق شکل (۶۳)سیم پیچ بخش BC بین ورودی و خروجی مشترک است به همین خاطر آن را **سیم پیچ مشترک** می‌نامند.

توان الکتریکی ورودی در بخش مشترک سیم پیچ ، بطور مستقیم از منبع تغذیه به بار منتقل می شود. این توان را توان الکتریکی هدایت شده توسط سیم پیچ به بار می‌گویند.

اگر سیم پیچ بخش مشترک (BC) به منبع ولتاژ ورودی متصل شود اتوترانسفورمر باعث افزایش ولتاژ خروجی خواهد شد یعنی اتوترانسفورمر افزاینده ی ولتاژ می شود و بالعکس اگر سیم پیچ بخش مشترک (BC) به بار خروجی متصل شود اتوترانسفورمر نقش کاهندگی ولتاژ خروجی را خواهد داشت.

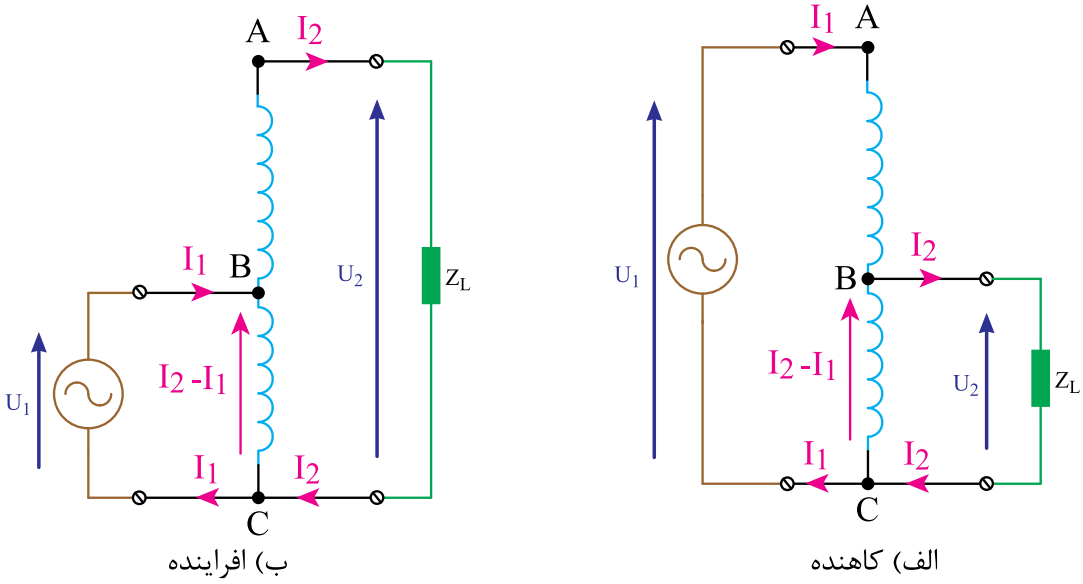
آن بخش از سیم پیچ که مطابق شکل (۶۳) بین نقاط A وB قرار گرفته است، **سیم پیچ سری** نام گذاری می‌گردد. توان الکتریکی منتقل شده از این بخش سیم پیچ به بار مصرفی را **توان تیپ** یا توان انتقالی از طریق هسته می‌نامند. مقدار توان این بخش با توجه به مدار شکل(۶۳-الف) ، مطابق رابطه (۷۱-۱) می‌باشد.

$$S_B = (U_1 - U_2) \times I_1 \qquad (۷۱-۱)$$

همچنین توان تیپ اتوترانسفورمر شکل(۶۳-ب) از رابطه(۷۲-۱) محاسبه می شود.

$$S_B = (U_2 - U_1) \times I_2 \qquad (۷۲-۱)$$

توان تیپ را با S_B نمایش می دهند.



شکل ۶۳- مدار یک اتوترانسفورمر کاهنده و افزاینده ولتاژ

تحقیق کنید

صحت رابطه‌ی ذیل را تحقیق کنید.

U_H ولتاژ طرف فشار قوی

U_L ولتاژ طرف فشار ضعیف

S توان ظاهری اتوترانسفورمر

S_B توان تیپ

$$S_B = \frac{U_H - U_L}{U_H} S$$

۱۲-۵-۲-مقایسه بین ترانسفورماتور معمولی و اتوترانسفورمر

در اتوترانسفورمر جریان عبوری از سیم پیچ نیروی محرکه الکتریکی تولید کرده و در سراسر سیم پیچ ولتاژ القا می نماید. مصرف کننده انرژی (بار مصرفی) نیز سهم ولتاژ خود را طبق روابط اساسی ترانسفورماتور از منبع دریافت میکند.

نکته ۱

چون بخشی از توان اتوترانسفورمر از طریق هسته و بخش دیگر از طریق هدایت الکتریکی به خروجی منتقل می شود، لذا در شرایط و مشخصات یکسان و در مقایسه با ترانسفورماتور معمولی، تلفات هسته در اتوترانسفورمر کمتر می‌باشد .

نکته ۲

به خاطر استفاده از یک سیم پیچ، کوپل مغناطیسی در اتوترانسفورمر خیلی بیشتر از زمانی است که دو سیم پیچ بطور مجزا از یکدیگر باشند. در نتیجه تلفات پراکندگی نیز در اتوترانسفورمر کاهش می یابد.

نکته ۳

بدلیل تفاضل جریان ورودی و خروجی در بخش سیم پیچ مشترک، جریان این بخش از سیم پیچ کم بوده و در نتیجه تلفات مسی در آن کاهش قابل توجهی دارد.

بطور کلی می توان گفت که در اتوترانسفورمر به خاطر تلفات بسیار کم تقریبا راندمان به واحد نزدیک است. بنابراین استفاده از روابط اساسی ترانسفورماتورهای ایده آل با تقریب خوبی برای اتوترانسفورمرها جایز است.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{1}{K} = a \qquad (۱-۷۳)$$

بیشتر بدانید

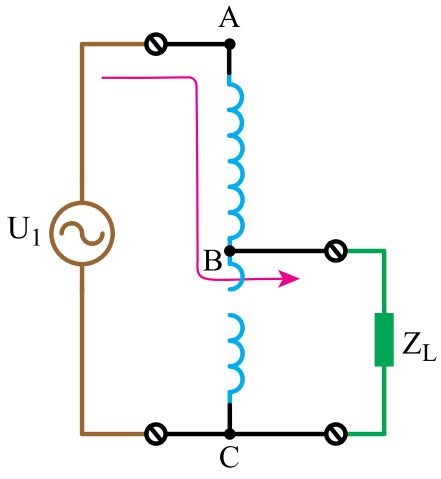
بیشتر بدانید: آیا می توانید نشان دهید چرا هر چه نسبت $\frac{\text{تعداد دور سیم‌پیچ بخش مشترک}}{\text{تعداد دور کل سیم پیچ}}$ به واحد نزدیکتر باشد صرفه جویی مصرف سیم در اتوترانسفورمر بیشتر است؟ این نسبت را ضریب صرفه ای بودن اتوترانسفورمر می‌گویند.

به همین خاطر در قدرت مشابه و مقادیر ولتاژهای ورودی و خروجی نزدیک به هم ، وزن سیم پیچ و حجم هسته اتوترانسفورمرها کمتر از ترانسفورماتور معمولی بوده و قیمت آن ارزانتر خواهد شد.

۱

در اتو ترانسفورمر بین مدار سیم پیچ اولیه و ثانویه علاوه بر کوپلینگ مغناطیسی اتصال الکتریکی نیز وجود دارد این موضوع سبب می شود که ایجاد عیب(مانند قطعی یا اتصال کوتاه) در هر سمت اتوترانسفورماتور طرف دیگر را تحت تاثیر قرار دهد.

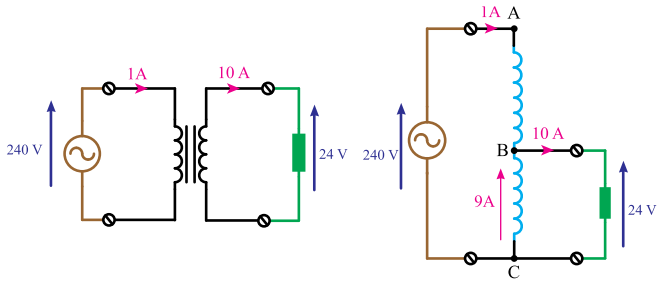
بعنوان مثال به مدار شکل (۶۴) دقت کنید. اگر قطعی یا پارگی در سیم پیچ مشترک رخ دهد ولتاژ زیاد منبع تغذیه روی بار ظاهر می شود که بسیار خطرناک خواهد بود.



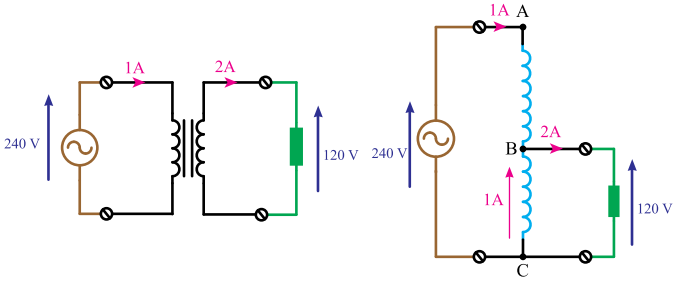
شکل ۶۴ – پارگی سیم پیچ بخش مشترک

همچنین بدلیل ارتباط الکتریکی دو طرف اتوترانسفورمر ، از این ترانسفورماتور بعنوان ترانسفورماتور ایزوله نمی توان استفاده نمود.

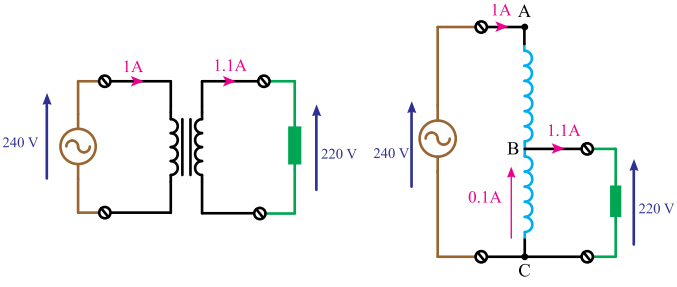
در شکل(۶۵) مقایسه صرفه ای بودن اتوترانسفورمر نسبت به ترانسفورماتور معمولی ، با تصویر مداری آنها آمده است.



الف) مقدار صرفه‌جویی در هادی مصرفی ۱۰ درصد



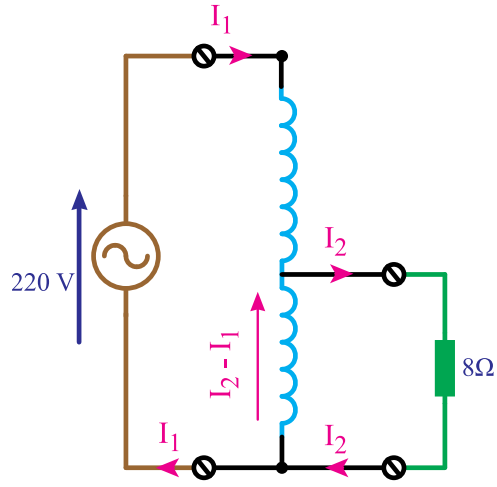
ب)مقدار صرفه‌جویی در هادی مصرفی ۵۰ درصد



ج) مقدار صرفه‌جویی در هادی مصرفی ۹۰ درصد

شکل ۶۵- مقایسه اقتصادی بودن ترانسفورمر نسبت بهترانسفورماتور معمولی

مثال یک اتوترانسفورماتور مطابق شکل زیر با ولتاژ ورودی ۲۲۰V، ولتاژ ۱۶۰V را برای یک مقاومت ۸Ω در سمت دیگر مهیا می‌کند. اگر تعداد دور کل حلقه ها ۳۰۰ دور باشد. مطلوب است :



الف)تعداد حلقه های سیم پیچ مشترک

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{N_1}{N_2}$$

$$\frac{220}{160}=\frac{300}{N_2}\Rightarrow N_2=\frac{160\times300}{220}\approx 218$$

ب)جریان بار

$$I_2=\frac{U_2}{R_2}=\frac{160}{8}=20A$$

ج)جریان بخش سیم پیچ مشترک

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{I_2}{I_1}\Rightarrow\frac{220}{160}=\frac{20}{I_1}\Rightarrow I_1=\frac{160\times20}{220}\approx 14/5A$$

جریان بخش مشترک $=I_2-I_1=20-14/5=5/5A$

د)توان الکتریکی منتقل شده توسط هسته (توان تیپ)

$$S_B=(U_1-U_2)\times I_1=(220-160)\times 14/5=$$
$$=870VA$$

۱۲-۵-۳- موارد کاربرد

یکی از مهمترین کاربردهای اتو ترانسفورمر استفاده از آن برای راه اندازی موتورهای سه فازه القایی است که در فصل ۳ به تفصیل تشریح خواهد شد . همچنین در شبکه های انتقال برق و برای جبران افت ولتاژ خطوط انتقال از اتو ترانسفورماتور استفاده می شود.

در آزمایشگاه های برق نیز برای ایجاد یک منبع AC با ولتاژ خروجی متغیر از اتوترانسفورمر متغیر استفاده می شود. نام تجاری این نوع اتوترانسفورمرها واریاک می‌باشد.

رفتار این نوع اتوترانسفورمر بسیار شبیه پتانسیومتر در مدار است. یعنی می توان با آن ولتاژ متغیری در خروجی داشت. البته پتانسیومتر با عمل تقسیم ولتاژ، ولتاژ مورد نظر را برای مصرف کننده مهیا می‌کند. اما تفاوت های اساسی بین اتوترانسفورمر و پتانسیومتر وجود دارد که آنها را ازهم متمایز می سازد که موارد زیر از آن جمله می‌باشند:

- در پتانسیومتر قدرت الکتریکی تنها از راه هدایت الکتریکی به بار انتقال می یابد در صورتی که در اتوترانسفورمر علاوه بر انتقال قدرت از طریق هدایت الکتریکی بخش دیگر از طریق کوپلینگ مغناطیسی و نیروی محرکه الکتریکی تولیدی در سیم پیچ منتقل می شود.
- در اتوترانسفورمر قدرت گرفته شده از شبکه باعث تولید نیروی محرکه الکتریکی و ولتاژ القایی در سیم پیچ می شود در صورتیکه در پتانسیومتر این انرژی به گرما تبدیل می‌گردد.

- با اتوترانسفورمر می توان ولتاژی بالاتر از ولتاژ منبع تولید کرد در صورتیکه پتانسیومتر حداکثر می تواند ولتاژ اعمال شده به ورودی را به خروجی تحویل دهد.
- در پتانسیومتر جریان ورودی همواره بیش از جریان خروجی است در حالی که در اتو ترانسفورمر کاهنده مقدار جریان سمت خروجی از ورودی بیشتر است.
- پتانسیومتر هم در جریان مستقیم و هم در جریان متناوب عمل می‌کند ولی اتو ترانسفورمر فقط در جریان متناوب قابل استفاده است.

شکل (۶۶) شمای مداری یک اتوترانسفورمر متغیر (واریاک) راکه دارای یک هسته مشترک چنبره ای می‌باشد نشان می دهد. با لغزش جاروبک زغالی روی محیط هسته و اتصال آن با سیم پیچ توسط یک دسته متحرک ولتاژ خروجی اتوترانسفورمر تغییر می‌کند.

شکل۶۶- نمای ظاهری و شماتیک اتوترانسفورمر متغیر (واریاک)

پرسشهای پایان فصل(۱)

۱) اجزای اصلی یک ترانسفورماتور را نام برده و وظیفه هر یک را بنویسید.

۲) ورودی یک ترانسفورماتور به منبع ولتاژ مستقیم متصل شده است،خروجی آن چند ولت است؟چرا؟

۳) عوامل موثر در مقدار ولتاژ القایی ثانویه ترانسفورماتور را بیان کنید.

۴) ویژگی های یک ترانسفورماتور ایده آل را نام ببرید.

۵) محل نقطه کار ترانسفورماتورهای قدرت و اندازه‌گیری را روی منحنی اشباع نشان دهید و آن را تحلیل کنید.

۶) چگونه جریان اولیه با افزایش بار ترانسفورماتور بیشتر می شود؟

۷) در چه شرایطی از جریان بی‌باری در برابر جریان واقعی ترانسفورماتور صرفنظر می شود؟

۸) هر چه تلفات هسته بیشتر باشد مقدار مقاومت الکتریکی مدل شده برای آن .....(کمتر-بیشتر)است.

۹)مدار معادل ترانسفورماتوری را ترسیم کنید که از تلفات هسته آن صرفنظر شده باشد.

۱۰) منظور از شار پراکندگی چیست؟

۱۱) چرا افزایش ولتاژ ورودی ترانسفور ماتور بیش از حد نامی مجاز نیست؟

۱۲) دیاگرام برداری ترانسفورماتور با بار اهمی- سلفی را از دیدگاه اولیه رسم کنید.

۱۳) آیا امکان دارد در ترانسفورماتور زیر بار ، $U'_2=U_1$ گردد؟(کدام نوع بار؟)

۱۴) تلفات هیسترزیس یک ترانسفورماتور به چه عواملی بستگی دارد؟

۱۵) ایجاد امپدانس داخلی مناسب در ترانسفورماتور جوشکاری چگونه انجام می شود؟

۱۶) تفاوتهای عمده اتو ترانسفورماتور و پتانسیومتر را بنویسید.

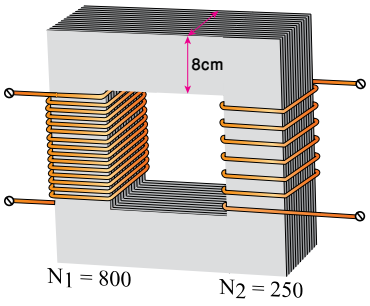
۱۷) دو عیب مهم اتوترانسفورماتور را نسبت به ترانسفورماتور معمولی،بنویسید.

۱۸) کاربرد های اتوترانسفورماتور را بیان کنید.

مسائل پایان فصل(۱)

۱) نیـــروی محرکه مغناطیســـی بوبینی با ۵۰۰ دور ســـیم پیچ که از آن جریـــان ۲ آمپر عبور می‌کند چقدر است؟

۲) ترانســـفورماتوری طبق شکل زیر در شبکه HZ ۵۰ دارای هســـته ای با چگالی شار T ۱/۲۵ می‌باشد. ولتاژ القایی در سیم پیچ اولیه وثانویه را بدست آورید.

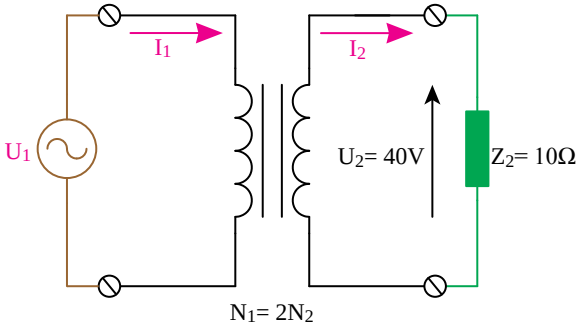


۳) یک ترانســـفورماتور با ضریب تبدیل۸ =a دارای ۲۰۰۰ دور سیم پیچ در اولیه می‌باشد. تعداد دور ثانویه چقدر است؟

۴) مقاومت بار ۰/۰۴ اهم در ترانسفور ماتور با ضریب تبدیل a=۱۰ در سمت اولیه چقدر دیده میشود؟

۵) نســـبت تبدیـــل و عکـــس نســـبت تبدیـــل یک ترانسفورماتور ی که دارای ۱۰۰۰ دور سیم پیچ اولیه و ۲۰۰ دور سیم پیچ ثانویه می‌باشد را محاسبه کنید.

۶) ترانســـفورماتور ایده آل مطابق شکل زیر موجود است:



الف)ولتاژ U_1

ب)جریان I_1

ج)امپدانس انتقالی به اولیه

۷) نتایج بدست آمده از آزمایش بی‌باری و اتصال کوتاه مطابق ذیل می‌باشـــد:

در آزمایش بی‌باری مقادیر وات متر= ۸۰w

ولت متر= ۴۰ V

آمپرمتر = ۲۰A

و در آزمایش اتصال کوتاه مقادیر وات متر= ۸۰ W

ولت متر=۴۰۰ V

آمپرمتر= ۲ A مطلوب است:

الف) مقادیر تلفات آهنی- تلفات مسی نامی-جریان بی‌باری-جریان نامی-درصد ولتاژ اتصال کوتاه- جریان اتصال کوتاه دائم

ب) مـــدار معـــادل و مقادیـــر المان‌هـــای مـــوازی ترانسفورماتور

ج) مدار معادل و مقادیر المانهای ســـری به شرطی که $R_1 = R'_2$, $X_1 = 3X'_2$

د) مدار معادل واقعی ترانسفورماتور با ذکر مقادیر

ه) مـــدار معادل ترانســـفورماتور با احتســـاب تقریب اول،دوم و سوم

۸) در یـــک ترانســـفورماتور واقعـــی۱۰۰۰V/۱۰۰V ، مقاومـــت معادل تلفات هســـته۲KΩ و راکتانس میدان اصلی ۱۰۰۰Ω می‌باشد.جریان بی‌باری و تلفات هسته را با احتساب تقریب اول بدست آورید.

۹)یک ترانســـفورماتور در بار نامـــی دارای افت ولتاژ اهمـــی ۲۵ ولت و افت ولتاژ القایی ۴۰ولت و ولتاژ نامی ۲۰۰ولت می‌باشـــد. ولتاژ دو سر بار را از دیدگاه اول در حالات خواسته شده بدست آورید:

الف)بار اهمی خالص
ب) بار پیش فاز با ضریب قدرت ۰/۸
پ) بار سلفی خالص

۱۰) جریـــان اتصال کوتاه دائم یک ترانســـفورماتور بـــا جریان نامی ۵ آمپر و ولتاژ اتصال کوتاه نســـبی ۲۵ درصد را بدست آورید.

۱۱) تلفات مســـی یک ترانســـفورماتور با توان نامی ۱۰ KVA برابر با ۸۰۰ وات است. تلفات مسی آن را در ۰/۷۵ بار نامی بدست آورید.

۱۲) یک ترانسفورماتور۵KVA در آزمایش بی‌باری ۲۵۰ وات و و در آزمایش اتصال کوتاه ۴۰۰ وات ،توان از شـــبکه دریافت می‌کندراندمان این ترانسفورماتور را در بارهای زیر محاسبه کنید.

الف)بار نامی اهمی خالص
ب)۵۰٪ بار نامی با ضریب قدرت ۰,۷
ج)راندمان ماکزیمم در باری با ضریب قدرت ۰,۸

۱۳)یک ترانسفورماتور ۸ KVA در آزمایش بی‌باری ۳۰۰ وات و در آزمایـــش اتصال کوتاه ۵۰۰ وات توان از شبکه دریافت می‌کند. بدست آورید:

الف)ضریـــب بار و ضریب قدرتـــی که در آن راندمان ماکزیمم می شود
ب) راندمان ماکزیمم

۱۴) ورودی یک اتوترانســـفورمر به ولتـــاژ ۴۰۰ ولت و خروجی آن با ولتاژ ۷۵۰ ولت به باری با امپدانس۷۵ Ω وصل اســـت به شرطی که تعداد حلقه های سیم پیچی کل آن ۱۵۰۰ دور باشد. مطلوب است:

الف)تعداد حلقه های سیم پیچ مشترک
ب)جریان بار
ج)جریان عبوری از سیم پیچ مشترک د)توان تیپ

۱۵) اتوترانســـفورماتوری کـــه ۴۰۰ دور ســـیم‌پیچ مشترک آن به شـــبکه ۴۰۰ ولتی متصل است ، جریان ۵ آمپر را به بـــار الکتریکی تحت ولتاژ۸۰ ولت می‌دهد. جریان سیم پیچ مشترک و توان تیپ راحساب کنید.